



Жидкости могут переходить в твердое и газообразное состояние — фазовые переходы первого рода (то есть переходы связанные с поглощением или выделением тепла). Эти переходы происходят при постоянных температурах. В таблицах эти температуры обычно предоставляются для нормальных условий. Но их значение зависит от множества факторов. В этой задаче предлагается рассмотреть некоторые из них (рассматриваются только фазовые переходы первого рода).

Кривая фазового перехода вещества из состояния 1 в состояние 2 описывается уравнением Клапейрона - Клаузиуса

$$\frac{dp}{dT} = \frac{q_{12}}{T(v_2 - v_1)}$$

где p — давление, T — температура, q_{12} — удельная теплота фазового перехода $1 \rightarrow 2$, v_1, v_2 — удельные объемы.

A1^{0.20} При какой температуре кипит вода в Швейцарии на пике Дюфур на высоте 4634 м, если давление там 430 мм.рт.ст. Нормальное давление 760 мм.рт.ст. В нормальных условиях вода кипит при 100°C.

Оказывается, явление поверхностного натяжения σ жидкости может влиять на давление насыщенных паров вещества над искривленной поверхностью (K — кривизна поверхности, величина обратная радиусу кривизны).

A2^{0.10} Найдите давление Лапласа в случае цилиндрической поверхности — разница давлений по разные стороны от искривленной поверхности жидкости. Выразите ответ через σ , K , p_a (атмосферное давление) и физические константы.

A3^{0.10} Найдите давление Лапласа в случае сферической поверхности. Выразите ответ через σ , K , p_a (атмосферное давление) и физические константы.

A4^{0.10} Рассмотрим пузырек в жидкости. Где давление больше: внутри (IN) пузырька или снаружи (OUT)?

В следующей части задачи рассмотрите, как кривизна поверхности жидкости влияет на давление насыщенных паров. Для решения рассмотрите сообщающиеся цилиндрические сосуды, помещенные в термостат, поддерживающий температуру T , (Рис. 1 — изображен случай, когда жидкость смачивает стенки сосудов) такие, что ширина одного из сосудов позволяет наблюдать капиллярный эффект. Давление паров над плоской поверхностью AB — p_1 , над CD — p_2 , K — кривизна поверхности CD . Удельный объем жидкости v_L , пара v_G (считайте, что плотность пара меняется слабо при изменении высоты на h).

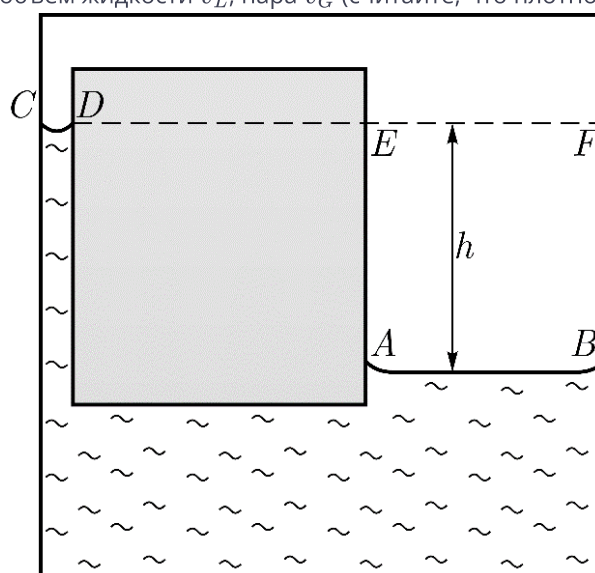


Рис. 1. Давление насыщенного пара над искривленной поверхностью

A5^{0.20} Выразите h через σ , K , v_L , v_G , T , μ и физические константы (μ — молярная масса).

A6^{0.40} Пусть жидкость смачивает стенки сосуда. Выразите разницу давлений $p_2 - p_1$ через σ , K , v_L , v_G , T , μ и физические константы.

A7^{0.10} Каким будет ответ, если жидкость не будет смачивать стенок сосуда? Выразите ответ через σ , K , v_L , v_G , T , μ и физические константы.

A8^{0.40} При большой кривизне ($\sigma K \gg |p_2 - p_1|$) $\sigma K \gg |p_2 - p_1|$ поверхности уже нельзя считать плотность пара постоянной. Какой будет разность давлений $p_2 - p_1$ в этом случае? Выразите ответ через σ , K , v_L , v_G , T , μ и физические константы.

В следующей части задачи предлагается рассмотреть, как изменятся условия фазовых переходов если растворить в жидкости какое-либо вещество. Первое, что следует рассмотреть это осмос — процесс односторонней диффузии через полупроницаемую мембрану. Эта мембрана пропускает только молекулы растворителя. Молекулы растворителя диффундируют туда, где концентрация растворенного вещества больше. Концентрация молекул растворителя n , растворенного вещества n_s . Вследствие этого явления возникает осмотическое давление p_{os} — избыточное давление в растворе, при котором прекращается диффузия молекул растворителя. На Рис. 2 изображен осмометр, прибор для измерения осмотического давления.

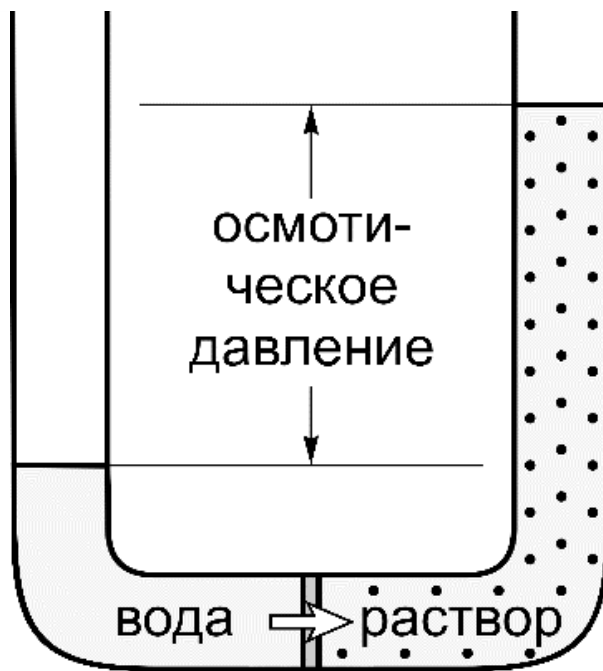
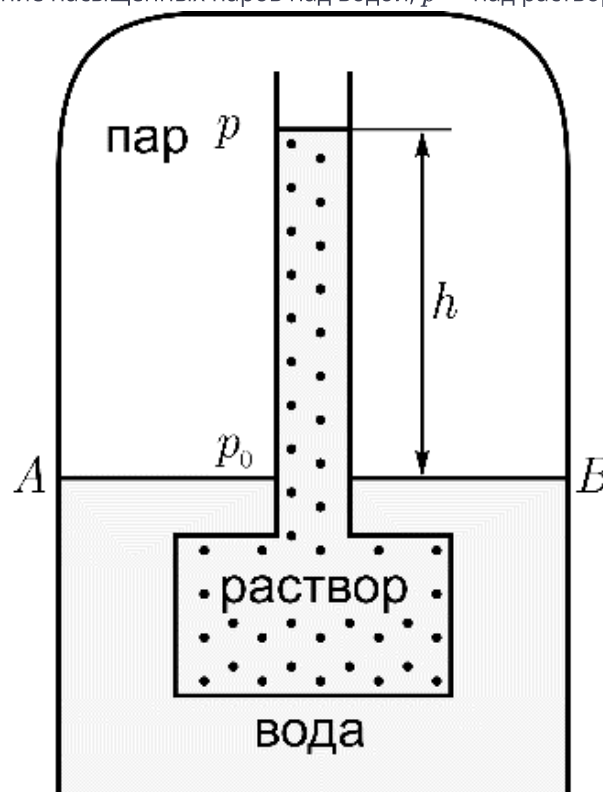


Рис. 2. Осмометр

B1 ^{0.50} Выразите осмотическое давление p_{os} для слабого раствора (раствора с малой концентрацией растворенного вещества). Выразите ответ через p_a , n , n_s , T и физические константы.

Рассмотрите как меняется давление насыщенных паров, если растворить в жидкости малое количество какого-либо вещества. На Рис. 3 раствор и вода разделены полупроницаемой мембраной, p_0 — давление насыщенных паров над водой, p — над раствором.



B2 ^{0.50} Выразите разницу $p - p_0$ через v_L , v_G , p_{os} и физические константы.

B3 ^{0.30} Выразите разницу $p - p_0$ через p_0 , n , n_s и физические константы.

В следующей части задачи рассмотрите три фазы вещества (1 — жидкость, 2 — пар, 3 — твердое тело, q_{21} , q_{23} , q_{13} — удельные теплоты выделяющиеся при переходах $2 \rightarrow 1$, $2 \rightarrow 3$ и $1 \rightarrow 3$ соответственно, $q_{21} > 0$, $q_{23} > 0$, $q_{13} > 0$). Рассмотрите точку трехфазного равновесия (тройная точка).

C1 ^{2.00} Считая разницу между p и p_0 малой, найдите изменение температуры кипения жидкости при растворении в ней какого-либо вещества. Выразите ответ через μ , T , q_{12} , n_s , n и физические константы.

C2 ^{0.30} Каков знак изменения температуры кипения жидкости при растворении в ней чего-либо?

C3 ^{1.50} Выразите q_{23} через q_{13} и q_{21} в тройной точке.

C4 ^{1.00} В координатах (p, T) изобразите качественно кривые равновесия между всеми тремя фазами вблизи тройной точки. Считайте, что $v_G \gg v_L$ и $v_G \gg v_s$ (удельный объем твердого вещества).

C5 ^{2.00} Найдите изменение температуры замерзания жидкости при растворении в ней какого-либо вещества. Выразите ответ через μ , T , q_{13} , n_s , n и физические константы.

C6 ^{0.30} Каков знак изменения температуры замерзания жидкости при растворении в ней чего-либо?

Т

Термодинамика

2016

Сборы XY

Y

Фазовые переходы

Уравнение Клапейрона-Клаузиуса

Насыщенный пар